

ポンプ・プローブ法を用いた シリカ GI-MMF 中の誘導ブリルアン散乱の観測

Observation of stimulated Brillouin scattering in silica graded-index multimode optical fiber

東京工業大学 精密工学研究所 ○林 寧生 水野 洋輔 中村 健太郎

P. & I. Lab., Tokyo Tech ○Neisei Hayashi, Yosuke Mizuno, and Kentaro Nakamura

E-mail: hayashi@sonic.pi.titech.ac.jp

1. はじめに

近年、ビルや航空機等の構造物の安心・安全を実現するためのセンシングの需要が高まる中、光ファイバ中のブリルアン散乱を用いた分布型歪・温度センサの開発が進んでいる。従来、センシングヘッドとして主にシリカ光ファイバが用いられてきたが、数%の歪で破断してしまうという欠点があった。そこで我々は、数 10%の歪にも耐えられるポリマー光ファイバ(POF)に着目し、POF 中のブリルアン散乱を用いた分布型歪・温度センサの実現を目指した研究を進めている。

この目的を達成するに当たっての一番の問題点は、POF 中のブリルアン散乱信号が小さいことである。ブリルアン信号の増強手法として、一般にポンプ・プローブ法(PPT)による誘導ブリルアン散乱(SBS)への遷移が知られている。これまでに、1.55 μm 帯において全フッ素化屈折率傾斜型(PFGI)-POF 中の SBS の観測に成功しているが、ロックイン検波を含む複雑な実験系が必要であった[2]。より簡素な系で SBS を観測できれば、POF を用いたブリルアン光時間領域解析法(BOTDA)の構築が可能となる。しかし、ロックイン検波を用いずに POF 中の SBS を観測することは困難であり[3]、その原因が構造的な問題(大きなコア径、マルチモード性)と材料的問題(高い伝搬損失・小さいブリルアン利得係数)のどちらに起因するのかは不明であった。

そこで本発表では、PPT を用いた場合と用いない場合の双方で、POF と同じ構造を有するシリカ屈折率傾斜型マルチモードファイバ(GI-MMF)中の SBS の観測を試み、MMF に対しても PPT は有効であることを示す。これより、POF 中の SBS が観測困難である理由は材料的問題が主要因であることを明らかにする。

2. 原理

光ファイバにポンプ光を入射すると、後方ストークス散乱光が発生する。この現象を自然ブリルアン散乱と呼ぶ。この散乱光の中心周波数はポンプ光のものと異なる。この周波数差はブリルアン周波数シフト(BFS)と呼ばれ、そのスペクトル自体をブリルアン利得スペクトル(BGS)と呼ぶ[4]。ポンプ光のパワーの増加に伴い、ストークスパワーも増加し、ポンプ光パワーをあるパワーよりも大きくするとその増加量が急激に大きくなる。これが SBS への遷移であり、その変化点をブリルアン閾値(P_{th})と呼ぶ[4]。なお、ブリルアン散乱光と同じ中心周波数を有するプローブ光をファイバのもう一端から入射し SBS を低い P_{th} で励起する手法を PPT と呼ぶ[5]。

3. 実験系

被測定ファイバは POF と同構造、つまりコア径 50 μm 、長さ 100 m のシリカ GI-MMF とした。PPT を使用しない実験系では自己ヘテロダイン系[6]を用いた。一方、PPT を使用する場合は実験系を図 1 に示す。プローブ光を増幅後、シリカ GI-MMF に入射した。発生したブリルアン散乱信号はカプラで分岐した後、光パワーメータでそのパワーを測定した。この時、プローブ光の中心周波数は電気スペクトルアナライザで観測しながら掃引した。

4. 実験結果

PPT を使用しない場合の BGS のポンプパワー依存性を図 2(a)に示す。BFS は 10.43 GHz であり、シリカ単一モードファイバ(SMF)の典型値(10.8 GHz)よりも低い値であった。ブリルアン線幅は 47 MHz であり、ブリルアン利得係数は $1.63 \times 10^{-3} \text{ m/W}$ あり、ともにシリカ SMF [4]と同程度であった。 P_{th} は 5.08 W と計算され、シリカ SMF と比較し非常

に大きい値であった。図 2(b)に示すように実際にストークスパワーのポンプパワー依存性を測定したが、予想通り SBS は観測できなかった。

一方、PPT を用いた場合の BGS を図 3(a)に示す。プローブパワーは 15.3 dBm に固定した。ポンプパワーが 22.1 dBm のとき、明瞭な BGS が観測された。BFS は 10.4 GHz で PPT なしの場合とほぼ一致した。次に、ストークスパワーのポンプパワー依存性を測定した結果を図 3(b)に示す。縦軸はポンプパワーが 0 dBm の時のストークスパワーを基準とした相対ストークスパワー、横軸はポンプパワーとした。ポンプパワーの増加に伴いストークスパワーは増加し、これより、ブリルアン閾値は約 17 dBm ($\sim 50 \text{ mW}$)であった。この値は PPT を用いない場合に推定された値 5.08 W の約 100 分の 1 の値であることから、PPT は MMF に対しても有効であることが示された。

以上の結果より、ロックイン検波を用いずに PPT による POF 中の SBS を観測することが困難な原因は、構造的な問題ではなく材料的問題にあることを明らかにした。

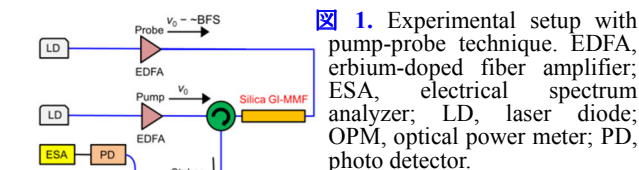


図 1. Experimental setup with pump-probe technique. EDFA, erbium-doped fiber amplifier; ESA, electrical spectrum analyzer; LD, laser diode; OPM, optical power meter; PD, photo detector.

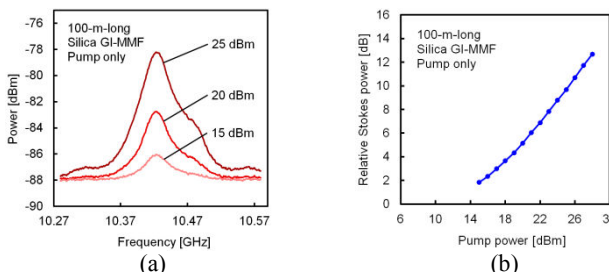


図 2. (a) Measured BGS and (b) relative Stokes power dependence on pump power in silica GI-MMF without pump-probe technique.

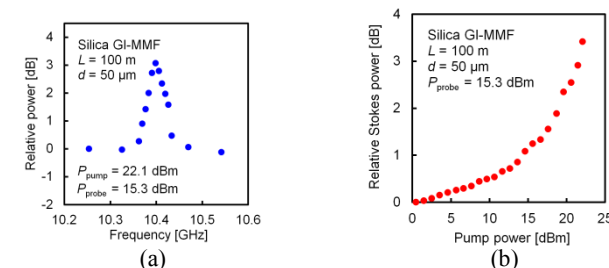


図 3. (a) Measured BGS and (b) relative Stokes power dependence on pump power in silica GI-MMF with pump-probe technique.

参考文献

- [1] K. Nakamura *et al.*, *Proc. SPIE* **5855**, 807 (2005).
- [2] Y. Mizuno *et al.*, *Opt. Lett.* **36**, 2378 (2011).
- [3] P. Lenke, and K. Krebber, personal communication.
- [4] G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics* (AP, CA, 1995).
- [5] N. Shibata *et al.*, *Opt. Lett.* **13**, 595 (1988).
- [6] Y. Mizuno *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **97**, 021113 (2010).